

Available online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)**SciVerse ScienceDirect**

Procedia Engineering 27 (2012) 742 – 746

**Procedia  
Engineering**[www.elsevier.com/locate/procedia](http://www.elsevier.com/locate/procedia)

2011 Chinese Materials Conference

## Shear behavior on monel alloy porous sheet materials

Wang Jianyong<sup>a</sup>, Tang Huiping<sup>a</sup>, Ge Yuan<sup>a</sup>, Yang Baojun<sup>a</sup>, Kang Xinting<sup>a</sup>, Wang Pei<sup>a,b,\*</sup><sup>a</sup>Northwest Institute for Non-ferrous Metal Research, State Key Laboratory of Porous Metal Materials, Xi'an, 710016, China<sup>b</sup>404 General Corporation, CNNC, Lanzhou, Gansu 732850, China

### Abstract

As one of the important metallic filter materials, sintered porous monel alloy has been widely used in chemical, nuclear and petrochemical industries because of its extremely high temperature corrosion resistance, high resistance to impact and good weldability. In the present paper, porous monel samples were prepared by power metallurgy and the shear test was carried out. The experiment results indicated that the sample has two stages of deformation and failure during the shear test, corresponding to two peak points at the shear stress-strain curve. Before the first peak point appears the porous metal sheet is compressed and extruded. The porous metal sheet is stretched after the first peak point appears. The shear strength of the porous plate decreased with the porosity increases.

© 2011 Published by Elsevier Ltd. Selection and/or peer-review under responsibility of Chinese Materials Research Society. Open access under [CC BY-NC-ND license](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/).

**Keywords:** sintered porous material; monel alloy filter material; shearing behavior; yield strength

## 蒙乃尔合金多孔板材剪切行为研究

王建永<sup>a</sup>, 汤慧萍<sup>a</sup>, 葛渊<sup>a</sup>, 杨保军<sup>a</sup>, 康新婷<sup>a</sup>, 王培<sup>b,a\*</sup><sup>a</sup>西北有色金属研究院 金属多孔材料国家重点实验室, 陕西西安, 10016<sup>b</sup>中核四〇四有限公司第一分公司, 甘肃兰州, 732850

### 摘要

烧结蒙乃尔合金多孔材料作为重要的金属过滤材料, 凭借其优良的耐高温、抗腐蚀、良好的抗冲击和

\* Corresponding author: Wang Jianyong. Tel.: +86-29-86231095; fax: +86-29-86264926.

E-mail address: [wangjy73@163.com](mailto:wangjy73@163.com).

可焊接等优势，广泛应用于化工、核工业、石化等诸多领域。本文采用粉末冶金法制备了多孔板试件，对试件进行面内剪切强度的测试，并分析了多孔板材剪切行为。结果表明：多孔板材剪切行为中经过了两次变形破坏，在应力-应变曲线上反映出存在两个峰值点；多孔板受剪切前期受到了局部压缩和环形剪切受力带的挤压力，当第一个峰发生后改变成环形剪切受力带的拉伸作用；随着孔隙度的增加，多孔板材的剪切强度变小。

**关键词：**多孔材料 蒙乃尔过滤材料 剪切行为 剪切强度

## 1. 前言

镍合金多孔材料是核燃料生产、核废料处理的关键功能材料<sup>[1-13]</sup>。随着我国核电装机容量的扩大，所需核燃料的产量将大大增加，进而引起核燃料处理量与随之产生的核废料处理量大量增加，高效过滤和高可靠性是对核用镍合金多孔材料的新要求，即除了满足功能特性外，还要具有良好的力学性能，保证核设备安全、可靠、高效的运行。蒙乃尔合金多孔板是流态化反应装置的气体分布元件，工作温度 200℃~450℃，承受气态和固态物料垂直于多孔板的冲击压力。随着核工业对蒙乃尔多孔分布元件规格尺寸的增大，研究蒙乃尔合金多孔材料的力学性能显得尤为重要<sup>[14-17]</sup>。垂直于板表面向的剪切性能可以反映多孔板材对反映气体和固体物料的承受能力。本文采用冲孔剪切夹具实现了多孔板材剪切性能的测试，并讨论了孔隙度对多孔板材的面向剪切性能的影响。

## 2. 试验方法

### 2.1. 样品制备

将-100 目的蒙乃尔合金（NCu28-2.5-1.5）粉末过筛，利用 160 目、200 目、240 目、280 目筛子获得粉末粒度区间为 55μm -63μm 的粉末，作者通过干筛分法对两种粉末的粒度组成进行分析，粉末在要求的粉末粒度区间含量 > 80%。采用粉末冶金模压制备 φ 65mm×8mm 的多孔板坯料，氢气炉烧结，烧结温度为 1200℃，保温时间 3h。通过改变压制装粉量来获得不同孔隙度的样品。剪切性能测试前，烧结多孔板需要测量厚度和外径及称重，通过质量体积法计算多孔材料的孔隙度。

### 2.2. 剪切性能测试

多孔板剪切强度采用特殊的冲孔剪切夹具来测试，测试装置示意图 1。装好多孔板样的冲孔剪切夹具在材料试验机上加压以实现多孔板面内纵向剪切，加压速度为 1mm/min。记录受力和位移数据。

实验中所制备的多孔板材及剪切测试后的试样如图 2、3 所示。

多孔材料剪切断裂  $F$ ，多孔试样切口侧壁的截面积，按下式即可计算出试样的剪切强度：

$$\tau = \frac{F}{A} = \frac{F}{\pi ds}$$

式中： $\tau$  — 剪切强度，N/mm<sup>2</sup>；

$F$  — 压力，N；

$A$  — 试样切口侧壁的截面积，m<sup>2</sup>；

$d$  — 冲压直径，mm；

$s$  — 试样厚度，mm。

根据测试的压力和位移数据，经过数据处理和计算，获得多孔板材应力应变曲线数据。

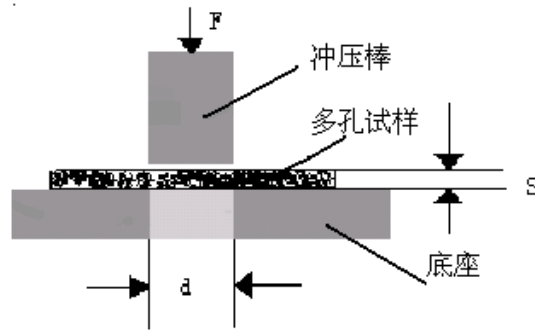


图 1 剪切强度测试示意图

Fig.1 sketch map of test for shear strength

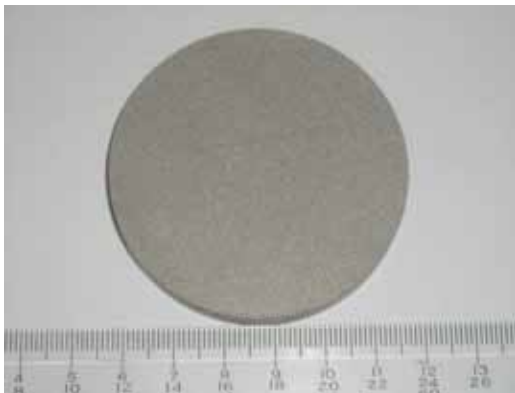


图 2 剪切测试前试样图片

Fig.2 sample before shear test



图 3 剪切测试后试样图片

Fig.3 sample after shear test

### 3. 结果与讨论

采用  $55\mu\text{m}$  - $63\mu\text{m}$  粉末制备的蒙乃尔多孔板材, 其孔隙度有 28.6%、33.6%、38.2% 三种, 剪切应力—应变曲线见图 4 所示。

由图 4 可以看出, 多孔板材剪切时应力随着应变先增加后降低, 每一条曲线均有两个峰值点, 这说明多孔板材在剪切实验中经过了两次变形破坏。在加载的初期, 多孔板受到仅局限在冲压棒截面对应面的一个局部压应力, 该部分多孔板体在平行于压应力方向发生应变, 随着应变的增大, 应力值也增大, 而且孔隙度越小, 增大的趋势越大; 当加载继续时, 冲压棒截面对应面除了平行于压力方向发生应变外, 还存在垂直于受压方向上、向环形剪切受力带四周膨胀、挤压的变形, 这两种变形使得多孔板材具有一定的应变值, 表现出金属的塑性特征。当多孔板材应变达到一定值后, 就会在环形剪切受力带上出现裂纹, 这点从图 3 中可以看出, 裂纹基本平行, 构成一个同心圆。当裂纹出现及裂纹迅速扩展时, 应力急剧下降, 即出现第一个应力峰。随着多孔板材剪切行为的继续进行, 应力随着应变的增加继续增加, 随后出现第二个应力峰值。作者认为, 但剪切受力带出现裂纹后, 受力带分成了两个环形的部分, 一个位于内次, 一个位于外侧, 两部

分受力相反，处于相互拉伸作用力下而发生塑性变形，应力随着塑性变形的增加而增加，当发生剪切裂纹及裂纹迅速扩张，应力下降，第二个峰值出现。

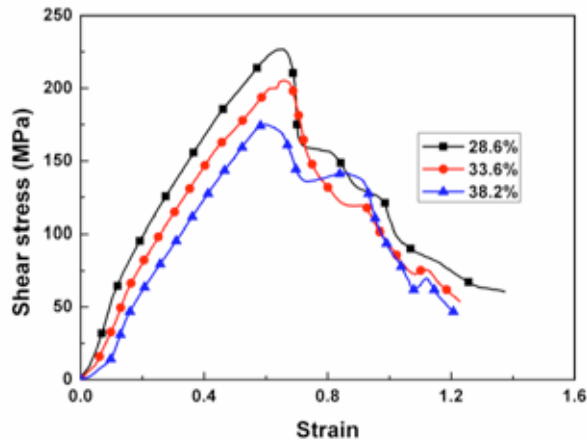


图 4 试样的剪切应力-应变曲线

Fig.4 the stress-strain curve of shear test of samples

由图可以发现，第一个峰的应力值比第二个峰的应力值大，除了说明试样的剪切行为是逐层地进行外，其原因有可能是第一个峰发生前，多孔板受到了冲压棒截面对应面的压缩和环形剪切受力带的挤压力，第一个峰发生后改变成只有环形剪切受力带的拉伸作用，导致在图中显示出第一峰高于第二峰的现象。

从图 4 中可以看出，随着孔隙度的降低最大应力峰值增加，即理论剪切强度随着孔隙度的降低而增加。孔隙度为 28.6% 时，剪切屈服强度为 226Mpa。随着孔隙度的增加，能够承载剪切力粉末颗粒数量及烧结颈变小，屈服强度降低。

#### 4. 结论

1. 多孔板材剪切的应力-应变曲线均有两个峰值点，说明多孔板材在剪切实验中经过了两次变形破坏，而且第一个峰值较第二个峰值大。
2. 多孔板受剪切时，前期受到了冲压棒截面对应面的压缩和环形剪切受力带的挤压力，当第一个峰发生后改变成环形剪切受力带的拉伸作用。
3. 随着孔隙度的增加，多孔板材的剪切强度变小。

#### 参考文献

- [1] Xi ZP, Tang HP. *Sintering Porous Metal Materials*. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2009.
- [2] Walther G, Kloden B, Kieback B. A New Class of High Temperature and Corrosion Resistant Nickel-Based Open-Cell Foams. *MetFoam 2007-Porous Metals and Metallic Foams*, Montreal in Canada, 2007; 125:128.
- [3] Choe H, Cduand D. Oxidation and Compressive Properties of Ni-Cr, Ni-Al, and Ni-Cr-Al Foams. *MetFoam 2007-Porous Metals and Metallic Foams*, Montreal in Canada, 2007; 141-144.
- [4] Li M, Ye JW, Zhang LF. Process and compressive properties of porous nickel materials. *Powder Metallurgy* 2006; 49:114-117.
- [5] Gibson LJ, Ashby MF. *Cellular solids*. Cambridge: Cambridge University Press, 1997.

- [6] Tang J, Liu ,XK, Wei CF. Advances on the radiation-proof Material. *Nuclear Electronics & Detection Technology* 2007, **27**:1142-1145.
- [7] Xu XG,Zheng JG. Applicatins and Corrosion Behavior Researches of Monel Metal in Fluorine Production. *Chemical Engineering & Machinery* 2005,**32**:381.
- [8] Zhou YX, LV ZL,Zhang M,Zhao XC,Fan ZK. Study on the Tribological Behavior of Monel Alloy. *Ordnnance Material Science and engineering* 2004,**27**:24.
- [9] Zhang L, Le JH. The Monel alloys in corrosion resisting valves. *Valve* 2002,**6**:37.
- [10] Chai ZJ, Application of Monel Alloy on Chinese Naval Ship. *Ship & Boat* 2003,**8**:20.
- [11] Peng J, Yu J,Curent Situation and Development Trend of World Nuclear Power. *Nuclear Safety* 2007,**4**:56-58.
- [12] Huang MD, GRARL Project Progress. *Annual Report for China Institute of Atomic Energy* 2006:71.
- [13] Fang W, Shu WW..Application of fiter in uranium hydrometallurgy process in china. *China Filtration & Separation* 2007,**17**:4-36.
- [14] Douglas T, Yasushi K, Haydn NG. Synthesis of stochast-ic open cell Ni-based foams. *Scripta Materialia* 2004,**50**: 313-3.
- [15] Xiong JY, Li YC, Wang XJ. Titanium-nickel shape memory alloy foams for bone tissue engineering.*JOURNAL OF THE MECHANICAL BEHAVIOR OF BIOMEDICAL MATERIALS*,2008:269-273.
- [16] Barrabés M., Sevilla P, Gil FJ. Mechanical properties of nickel–titanium foams for reconstructive orthopaedics. *Materials Science and Engineering C* 2008,**28**:23-27.
- [17] Nakajima H. Fabrication, properties and applplication of porous metals with directional pores. *Progress in Materials Science* 2007;**52**:1091-1173.